

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE CAL AÉREA E TERRA

Patrícia Pimenta^{1*}, Paulina Faria², António Santos Silva³ e Naila Jamú⁴

1: Dep. Eng. Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, pc.pimenta@campus.fct.unl.pt

2: UNIC, Dep. Eng. Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, paulina.faria@fct.unl.pt

3: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. Do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, ssliva@lnec.pt

4: Dep. Eng. Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, nailaspj@gmail.com

Palavras-chave: Cal aérea, Terra argilosa, Ligante, Argamassa, Caracterização

Resumo. *A terra é um dos materiais de construção mais antigos e os vestígios arqueológicos mostram o seu uso desde as primeiras sociedades agrícolas. Trata-se de um recurso natural abundante na natureza, ou seja, um material acessível, económico e ecológico.*

Em Portugal a terra foi muitas vezes misturada com cal aérea para formular argamassas de terra e cal. Este tipo de argamassas era aplicado no revestimento e no assentamento de construções de terra, nomeadamente em paredes de taipa, alvenaria de adobe e em paredes de tabique, mas também de alvenarias de pedra.

As argamassas de cal aérea encontram-se bem caracterizadas a nível físico-mecânico e a nível químico e mineralógico. No entanto, esta caracterização não existe para argamassas mistas de cal aérea e terra argilosa. Apesar de, hoje em dia, constatar-se um crescente interesse sobre argamassas com terra, é notória a lacuna de conhecimento que existe nesta aérea. É neste contexto que se enfatiza a necessidade de caracterização deste tipo de argamassas. É evidente que, para tornar novamente a terra um material de construção, em especial para a sua utilização em argamassas compatíveis, é necessário conhecer e caracterizar estas argamassas.

Na presente comunicação caracterizam-se argamassas de cal aérea e terra argilosa aos 90 dias de idade. Partindo de uma argamassa de referência com um traço volumétrico de 1:2 (ligante: agregado), procedeu-se à substituição parcial de massa do ligante por uma terra argilosa, nas proporções de 10%, 25% e 50%. Efectua-se uma caracterização mecânica mas também mineralógica. Apresentam-se e discutem-se os resultados da análise das argamassas mistas face à argamassa de referência, tendo como desafio definir as proporções óptimas entre a argila e a cal aérea, de forma a obter um comportamento cumulativo eficiente das argamassas.

1. INTRODUÇÃO

A conservação do património e o impacto ambiental causado pela construção civil são temáticas sobre as quais recai actualmente um interesse crescente. De facto existem cada vez mais esforços para a escolha de materiais de conservação. A terra é um dos materiais de construção mais antigos e vestígios arqueológicos mostram o seu uso desde as primeiras sociedades agrícolas [1].

Em Portugal existe um património rico e de excelência de construções em terra. No Alentejo é possível encontrar muitas edificações em terra compactada (nomeadamente em taipa). O castelo de Alcácer do Sal é um dos exemplos de construções em terra em Portugal [2]. As construções em terra correspondem a 10% do património mundial da UNESCO [3]. Mas a periodicidade de manutenção deste tipo de construções é variável e está estreitamente dependente do tipo de protecção aos agentes atmosféricos que as construções possuem.

É frequente encontrar construções em terra compactada reparadas com argamassas hidráulicas, nomeadamente à base de cimento, na tentativa de combater a degradação. Porém estas argamassas acabam por trazer problemas adicionais [4]. Regra geral, as argamassas de cimento são demasiado rígidas e demasiado impermeáveis ao vapor, comparativamente a estes suportes. É importante escolher argamassas com propriedades semelhantes à alvenaria na qual vai ser aplicada. Assim as argamassas devem possuir uma boa compatibilidade mecânica, física e química com o suporte. Todavia, nem sempre os vários requisitos exigidos às argamassas são fáceis de atingir e harmonizar.

Em Portugal a terra foi muitas vezes misturada com cal aérea para formular argamassas mistas de terra e cal. Este tipo de argamassas era aplicado em construções em terra, nomeadamente em paredes de taipa, em alvenaria de adobe e em paredes de tabique. Actualmente no nosso país existe um crescente interesse sobre construções em terra. Por exemplo no Alentejo, para além do vasto património edificado vernacular e monumental construído em terra, existe também um elevado número de construções recentes feitas com paredes de terra - não só de habitações familiares, mas também em edificações relacionadas com o turismo.

O tipo de minerais de argila presentes na terra altera, por exemplo, as características das argamassas. Porque cada terra é um caso, as suas características são muito variáveis. Para tornar a terra um material de construção mais corrente, por exemplo para uso em argamassas mistas, é necessário tipificar as características que se podem obter ao introduzir este material na formulação de argamassas de cal.

Existe muita informação relevante sobre argamassas de cal aérea [5,6], contudo existem poucos estudos sobre argamassas de terra [7,8,9,10,11]. É notória a escassa informação sobre argamassas mistas de cal aérea e terra [12,13]. Contudo, não só as características mecânicas e físicas são relevantes, mas também as características químicas e mineralógicas. Neste artigo apresenta-se a caracterização mineralógica e granulométrica de uma terra utilizada em argamassas, assim como a caracterização mecânica e mineralógica de argamassas formuladas com substituições crescentes de cal aérea por essa terra. A análise é efetuada considerando a argamassa de cal aérea como padrão.

2. MATERIAIS E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

No presente artigo caracterizam-se argamassas de cal aérea e terra argilosa aos 90 dias de idade de cura. Partindo de uma argamassa de referência com um traço volumétrico de 1:2 (cal aérea: areia), procedeu-se à substituição parcial de massa da cal por uma terra argilosa, nas proporções de 10%, 25% e 50%.

2.1. Materiais

Em todas as argamassas foi utilizada a cal aérea hidratada em pó LUSICAL H100. De acordo com a norma NP EN 459-1 [14] trata-se de uma cal cálcica CL90. Na tabela 1 apresenta-se a composição química da cal aérea, constatando-se que os compostos CaO (óxido de cálcio) e MgO (óxido de magnésio) representam 99,7% do total.

Tabela 1. Composição química de cal aérea (% de massa) [5]

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PF*
Cal Aérea	-	0.01	0.15	0.01	3.907	76.74	-	0.02	0.04	0.01	0.45

*Perda ao Fogo

O agregado usado na produção das argamassas foi uma mistura de areias siliciosas lavadas com granulometria distinta. A terra utilizada (figura 1) foi disponibilizada pela empresa Sorgila - Sociedade de Argilas e é proveniente da zona de Rendinha (Pombal) e já tinha sido utilizada em trabalhos de investigação anteriores sobre argamassas de terra [15]. A selecção da terra baseou-se em, de entre várias terras argilosas disponíveis, conter argila de baixa expansibilidade, uma elevada percentagem de finos e retracção linear baixa. Na Figura 2 apresenta-se a curva granulométrica da mistura de areias e da terra argilosa utilizadas, determinadas a partir do ensaio de peneiração a seco. Na mesma figura surge ainda a curva granulométrica resultante da peneiração por via húmida realizada à terra argilosa. Na tabela 2 apresenta-se a baridade de todos os constituintes da argamassa.



Figura 1. Aspeto da terra argilosa

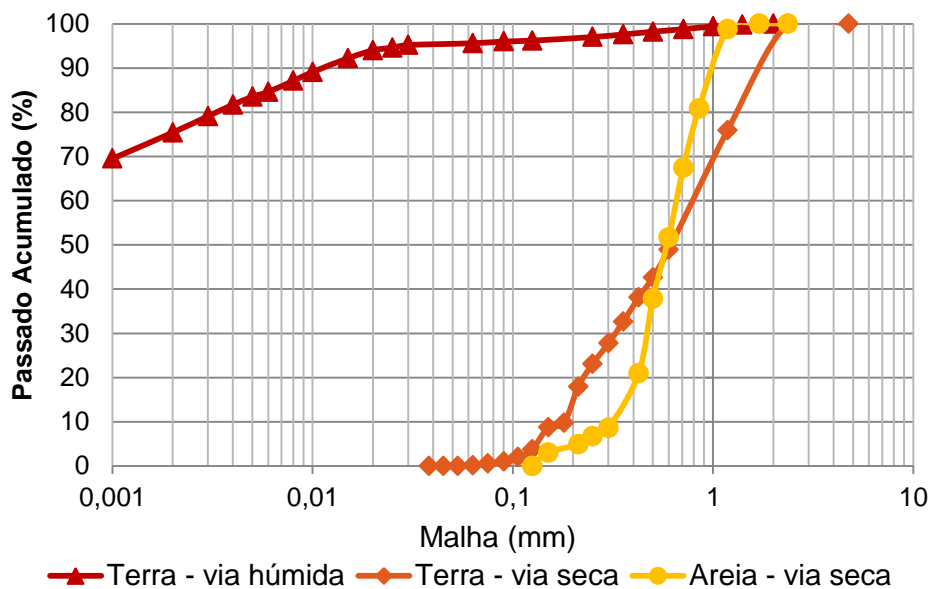


Figura 2. Curvas granulométricas da areia resultante da mistura e da terra, esta determinada por via seca mas também por via húmida (com base em [16])

Tabela 2. Baridade dos materiais constituintes das argamassas

Material	Baridade [g/cm ³]
Cal aérea	0.362
Mistura de areias	1.463
Terra argilosa	1.09

2.2. Argamassas, Provetes e Condições de Cura

Através da baridade, do traço e das percentagens de substituição pretendidas, os constituintes secos das argamassas foram pesados e misturados manualmente, e foram colocados na cuba da amassadora mecânica de laboratório; a amassadora foi colocada em funcionamento e, durante os primeiros segundos, foi adicionada a quantidade de água considerada necessária para as argamassas apresentarem boa trabalhabilidade (que tinha sido previamente definida). A amassadura mecânica prolongou-se durante 3 minutos, com uma interrupção para que o material dos bordos fosse bem integrado. Avaliou-se a consistência de cada argamassa através do ensaio da mesa de espalhamento, realizado de acordo com a EN 1015-3 [17]. Com cada tipo de argamassa foram realizados provetes prismáticos de dimensões de 4x4x16 [cm] em moldes metálicos padronizados, que foram dispostos numa sala com condições de humidade relativa (HR) e temperatura (T) de 65±5% e 20±3°C. Do 2º ao 5º dia, a superfície livre dos provetes foi aspergida diariamente com água potável. Os provetes foram desmoldados ao fim de uma semana e mantidos na sala de cura até completarem 90 dias.

Para diferenciar as argamassas de uma forma explícita escolheu-se uma nomenclatura que identifica o traço volumétrico e a percentagem de terra incorporada em substituição da massa de cal aérea de cada argamassa, e que é expressa na Tabela 3.

A designação CL2 designa a argamassa de referência com traço volumétrico 1:2, enquanto a designação CL2_10t, por exemplo, designa a argamassa de cal aérea (CL) com traço volumétrico 1:2 (ligante: areia), em que 10% de massa de cal foi substituída por terra argilosa. Na Tabela 3 apresenta-se a composição, em traços volumétrico e em massa, assim como a razão mássica água/ligante (considerando este constituído pelo conjunto cal e terra) de cada argamassa e a correspondente consistência por espalhamento.

Tabela 3. Identificação dos provetes, composição e consistência por espalhamento

Designação dos Provetes	Cal aérea: Terra: Areia		Razão Água/(CL+terra) [-]	Espalhamento [mm]
	Traço Volumétrico	Traço em Massa		
CL2	1:2	1:0,7,7	1.7	147
CL2_10t	1:0,04:2,2	1:0,1:8,6	1.8	152
CL2_25t	1:0,1:2,7	1:0,3:10,3	1.8	147
CL2_50t	1:0,3:4	1:1:15,5	1.8	146

Verifica-se que a quantidade de água introduzida nas argamassas aumentou ligeiramente com a substituição de cal por terra, comparativamente à argamassa de referência, mas não foi necessário mais nenhum acréscimo de água com o aumento da percentagem de terra introduzida. A trabalhabilidade obtida foi comparável no sentido que a consistência se manteve na ordem dos 149±3 mm para todas as argamassas.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES E DAS ARGAMASSAS ENDURECIDAS

Aos 90 dias de idade de cura, os provetes foram retirados da sala climatizada e caracterizados através de ensaios mecânicos. Os provetes resultantes foram secos em estufa e acondicionados em sacos de polietileno vedados, de modo a interromper-se a cura, até serem sujeitos a ensaios químicos e mineralógicos.

3.1. Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos, que incluíram ensaios de resistência à tração por flexão e à compressão, foram realizados com base na norma EN 1015-11 [17], utilizando uma máquina de tração universal Zwick Rowell Z050. No ensaio de resistência à tração por flexão através de três pontos foi utilizada uma célula de carga de 2 kN. O mesmo equipamento mas com um dispositivo de compressão e uma célula de carga de 50 KN foi utilizado para a determinação da resistência à compressão. Para este ensaio foram usadas as metades dos provetes resultantes do ensaio de tração. Amostras resultantes da compressão foram secas em estufa e acondicionadas dentro de sacos de polietileno, por forma a interromper a cura. Foram encaminhadas para os restantes ensaios.

3.2. Análise mineralógica por difração por raios X (DRX)

A cal aérea e a terra utilizadas nas argamassas foram analisadas por DRX. A cal aérea já tinha sido analisada em estudos anteriores [5]. A amostra de terra fragmentada foi esquartelada com o objectivo de abranger toda a granulometria da amostra. Seguidamente foi seca até massa constante e peneirada num peneiro de malha 106 μm até que todas as partículas passassem no peneiro.

No caso das argamassas em vez foi necessário desagregar e moer a amostra, incluindo os grãos de areia, de modo a garantir que todas as partículas passavam no peneiro de malha 106 μm . Deste modo obtém-se a amostra global. Os difractogramas de raios X foram obtidos através de um difractor de raios X Philips PW 3710 com 35 kV e 45 mA, utilizando radiação X com comprimento de onda λ de 1.7903 Å.

3.3. Análise termogravimétrica e térmica diferencial (ATG/DTG)

As amostras para serem analisadas por ATG-DTG foram secas e desagregadas, de forma idêntica à que foi descrita para o ensaio de DRX. Uma amostra de cada argamassa foi então moída (incluindo os respetivos grãos de areia) até que todas as partículas passassem no peneiro com malha 106 μm . Foi utilizada uma termobalança SETARAM TGA 92 com atmosfera inerte de argon e velocidade de aquecimento de 10°C/min desde a temperatura ambiente até aos 1000°C [18].

4. RESULTADOS

Os resultados dos ensaios das resistências mecânicas (em termos de valor médio e desvio-padrão) podem observar-se no gráfico de barras da Figura 3.

São de salientar os reduzidos desvios-padrão obtidos. Como se observa, tanto a resistência à compressão como a resistência tração aumentam ligeiramente com a substituição de 10% de cal aérea por terra e diminuem para percentagens maiores de substituição. Assim, a argamassa com 50% de terra (CL2_50t) apresenta os menores valores de resistências mecânicas.

Na Figura 4 observam-se os difratogramas da terra argilosa e da cal aérea. Pela análise do registo difratométrico da terra constata-se que o mineral de argila predominante é a caulinite. Com efeito, a terra, em conformidade com o mineral de argila predominante, pode ser designada como uma terra caulinítica. O difractograma da cal aérea comprova que o constituinte principal da cal é a portlandite, seguindo-se a calcite. Esta última denota já uma pequena percentagem de carbonatação da cal aérea que foi utilizada na formulação das argamassas.

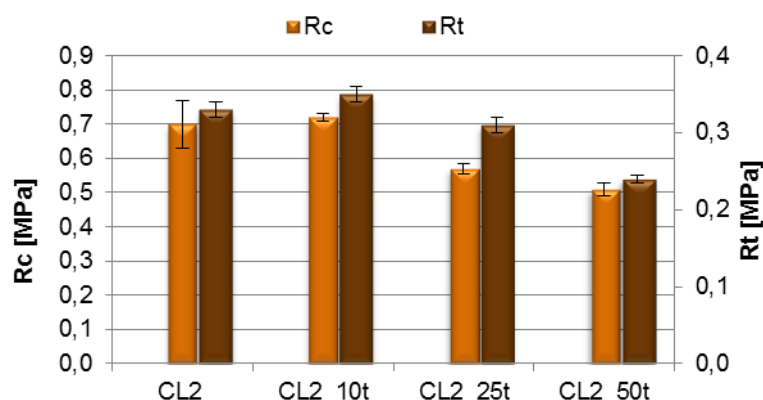


Figura 3. Valores médios e desvio-padrão da resistência à compressão (Rc) e resistência à tração (Rt) das argamassas com 90 dias.

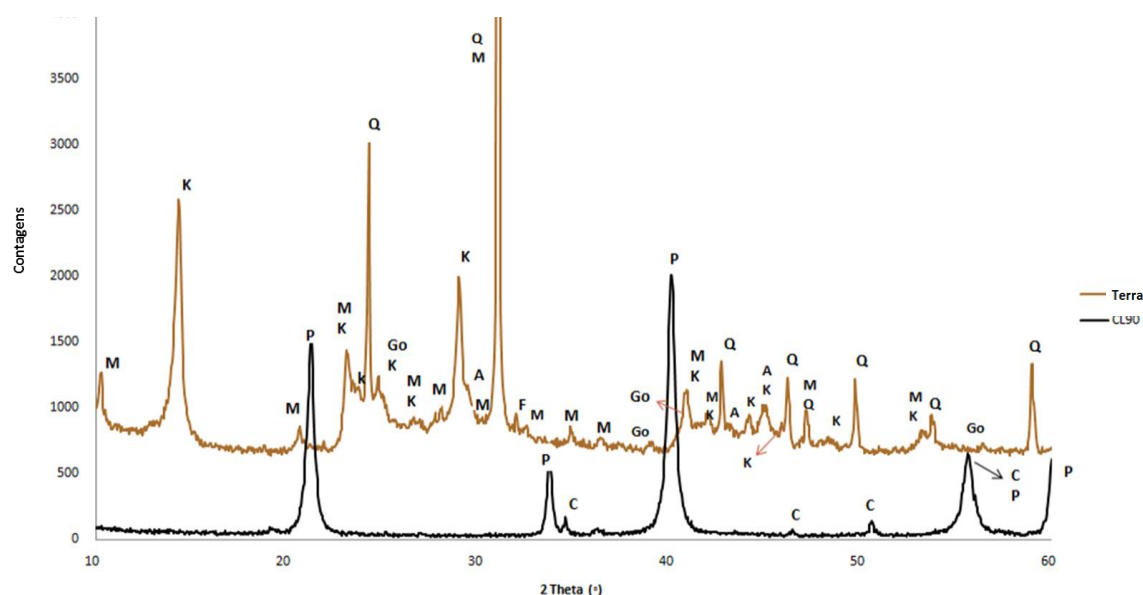


Figura 4. Difractograma da terra argilosa e da cal aérea. Notação: C-Caulinite; P-Portlandite; M- Mica; K- Caulinite; F- Feldspatos; A – Anatase; Go-Goetite

Na Figura 5 observam-se os difractogramas das argamassas analisadas. De acordo com o resultado da análise por DRX das argamassas é possível observar, como esperado, um aumento do pico da caulinite nas argamassas com maior percentagem de terra, em oposição à diminuição da portlandite com a substituição por terra. É possível ainda constatar que não houve qualquer formação de compostos devido à reacção entre os minerais de argila da terra e a cal.

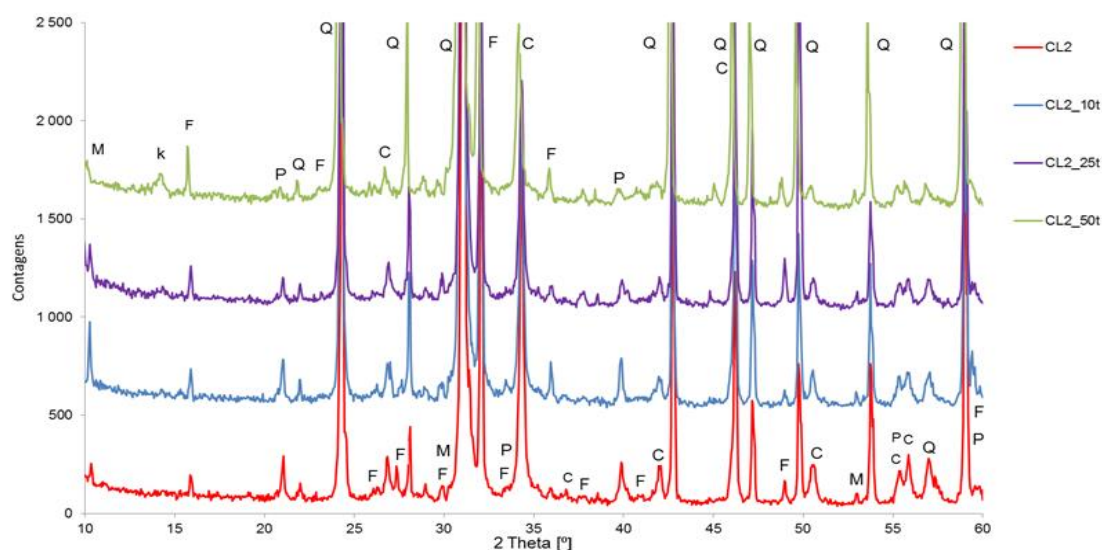


Figura 5. Difractogramas das argamassas CL2, CL2_10t, CL2_25t e CL2_50t. Notação: C- Calcite; P-Portlandite; M-Mica; K- Caulinite; F-Feldspatos; Q-Quartz

Na Figura 6 apresentam-se as curvas resultantes da análise térmica diferencial (DTG) das matérias-primas das argamassas - da terra e da cal aérea.

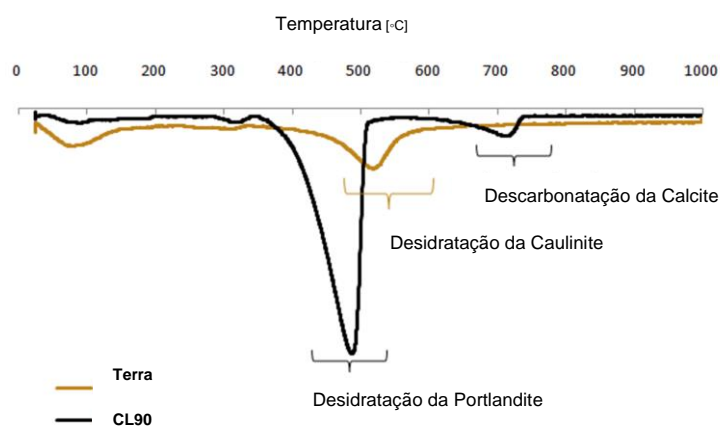


Figura 6. Curvas DTG da terra e da cal aérea.

As duas curvas mostram duas gamas de temperaturas onde ocorrem perdas de massa características da decomposição térmica dos compostos hidratados e carbonatados presentes das matérias-primas. Com base na composição DRX essas perdas de massa correspondem a:

- 350°C-550°C - Zona de perda de massa devido à desidratação da portlandite da cal e da caulinite da terra;
- 550°C-850°C - Zona de perda de massa devido à descarbonatação da calcite.

Na figura 7 apresentam-se as curvas resultantes da DTG das argamassas.

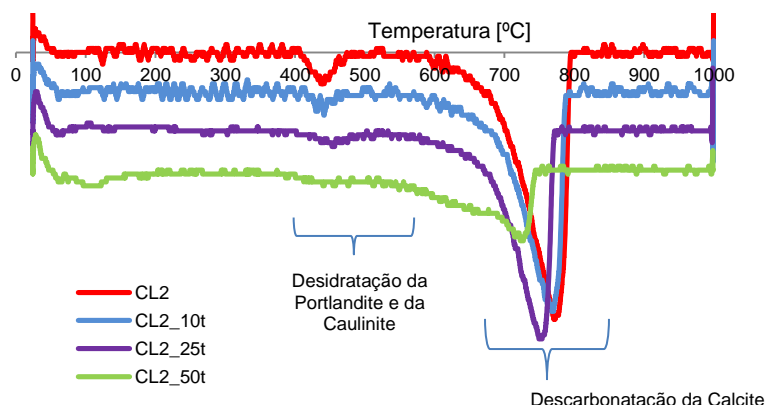


Figura 7. Curvas DTG das argamassas em análise

As curvas DTG da figura 7 apresentam picos nas zonas correspondentes às perdas de massa das correspondentes matérias-primas das argamassas. Assim, as curvas obtidas são coerentes, na medida em que quanto maior a percentagem de terra introduzida em substituição da massa de cal, menor é o pico correspondente à descarbonatação da calcite.

5. DISCUSSÃO

As argamassas analisadas apresentaram um valor mínimo de resistência à flexão de 0.24 MPa e de resistência à compressão de 0.51 MPa, quando se atingiu uma substituição de cal por terra de 50%. Contudo, verifica-se que mesmo esta argamassa de menores resistências mecânicas cumpre os requisitos mecânicos mínimos definidos por Veiga *et al.* [5] para argamassas de substituição para edifícios antigos ou com paredes com resistências mecânicas comparáveis, como sejam por exemplo o caso de paredes de terra. Com efeito, todas as argamassas analisadas apresentam resistências à flexão aos 90 dias entre 0,2-0,7 N/mm² e à compressão entre 0,4-2,5 N/mm², o que indicia a sua adequação para aplicação em rebocos exteriores e interiores.

Comparando os resultados com argamassas com base em cal aérea mas em que a cal foi parcialmente substituída por resíduo fino de materiais cerâmicos, proveniente de tijolo, telhas e vasos, nas percentagens de 10% e 20% [19], verifica-se que o acréscimo ocorrido com a substituição de 10% de cal por terra argilosa é de algum modo semelhante, embora mais fraco.

Tal situação deve-se ao facto do material cerâmico fino cozido apresentar geralmente alguma reatividade pozolânica e reagir com a cal aérea [20] o que não acontece, como se comprovou no presente estudo, entre a cal aérea e a terra crua.

Devido a essa situação, admite-se que o aumento de resistências mecânicas ocorrido entre a argamassa padrão e a com 10% de terra possa ser devido a uma alteração microestrutural da argamassa, que ainda irá ser averiguada. Com efeito, tendo-se efetuado uma substituição em massa de cal aérea por terra, e apresentando a terra uma baridade (no estado seco e apenas após destorroamento) muito superior à da cal, isto significa que, na substituição, um determinado volume de cal foi substituído por um volume muito inferior de terra. Desta situação pode colocar-se como hipótese o facto de, numa substituição em volume em vez de em massa, os resultados poderem ainda vir a ser otimizados.

6. CONCLUSÕES

Os resultados da DRX mostram que a terra incorporada nas argamassas é uma terra caulinitica, uma vez que o mineral de argila presente é maioritariamente a caulinite. Para além disto verifica-se que os resultados da DRX das argamassas são coerentes com as matérias-primas utilizadas. Existe um crescimento do pico da caulinite com o aumento da percentagem de substituição de cal por terra e, de forma semelhante, a diminuição da portlandite. Até à idade de 90 dias não houve formação de compostos devido a qualquer reacção da cal aérea com a terra crua.

Na argamassa com 10% de terra observaram-se resultados muito satisfatórios, uma vez que houve um ligeiro aumento da resistência mecânica, comparativamente à argamassa padrão, só de cal aérea. Nas argamassas com percentagem de terra superior a 10% verificou-se uma diminuição da resistência à tração e à compressão relativamente à argamassa de referência, só de cal. Todavia, este resultado era esperado, porque efetivamente substitui-se um ligante (cal aérea) por terra argilosa. Salienta-se, no entanto e de acordo com os requisitos estabelecidos por Veiga et.al. [5], o facto desta diminuição de resistência não comprometer o uso destas argamassas em rebocos de substituição para edifícios antigos. Efetivamente considera-se que argamassas mistas de cal aérea e terra poderão ser muito eficientes para aplicação na conservação e reabilitação de edifícios antigos, assim como de edifícios com paredes de terra. Particularmente neste último tipo de edifícios serão até uma solução eficiente para construção nova.

As argamassas mistas de cal e terra possuem menor energia incorporada que argamassas só de cal aérea, que já de si são mais sustentáveis que muitas outras argamassas. Com efeito, um ligante que necessita de ser produzido com consumo de energia para calcinação e de água para a sua extinção, e que tem de ser transportado desde a fábrica, pode ser parcialmente substituído por terra, que pode ser obtida localmente e que apenas necessita de um destorroamento para ser utilizada. Assim, e corroborando a prática tradicional, o uso da terra como constituinte parcial de argamassas de cal aérea mostra ser uma medida que tecnicamente pode ser eficiente, para além de constituir uma medida mais ecológica.

Estas argamassas indiciam, assim, ser ecoeficientes, o que justifica a continuidade do seu estudo, com vista a uma mais aprofundada caracterização e otimização de potenciais formulações.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Lusical pela disponibilização da cal aérea H100, à Doutora Idália Gomes e à Sorgila pela disponibilização da terra argilosa e à Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo apoio atribuído à segunda autora através do projecto EXPL/ECM-COM/0928/2012.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Bruno, P. Faria, A. Candeias, J. Mirão, "Earth mortars use on pre-historic habitat structures in south Portugal. Case studies", *Journal of Iberian Archaeology*, vol.13, pp. 51-67, 2010.
- [2] M. Fernandes, "Interventions in Portuguese rammed earth architecture - from ignorance to good practices", *Rammed Earth Conservation*, 2012, pp. 309-314.
- [3] A. Balderrama, "The Conservation of Earthen Achitecture", *The Getty Conservation Institute Newsletter*, vol. 16, pp 4-16, 2001.
- [4] I.Gomes, P. Faria, "Repair mortars for rammed earth constructions", in *XII DBMC - 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, vol.2, pp. 689-696, 2011.

- [5] M. R. Veiga, A. Fragata, A. L. Velosa, A.C. Magalhães, G. Margalha, "Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings", *International Journal of Architectural Heritage*, vol.4, pp. 177-195, 2010.
- [6] P. Faria; F. Henriques, V. Rato, "Comparative evaluation of aerial lime mortars for architectural conservation", *J. Cultural Heritage*, vol.9, pp.338-346, 2008.
- [7] M.I. Gomes, T. D. Gonçalves, P. Faria, "Evaluación de la influencia del contenido de agua en la trabajabilidad del mortero de tierra", *Journal of Cultural Heritage Studies*, vol. 25, pp. 258-277, 2012.
- [8] M.I. Gomes, T. D. Gonçalves, P. Faria, "Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers", *Rammed Earth Conservation*, 2012, pp. 661-668.
- [9] P. Faria, T. Santos, V. Silva, "Earth-based mortars for masonry plastering", in *9th International Masonry Conference*, 7-9 July 2014 (aceite para publicação).
- [10] P. Faria, T. Santos, V. Silva, "A Portuguese premixed earth-based mortar for eco-efficient plasters", in *International Conference on Vernacular Heritage, Sustainability and Earthen Architecture*, Valencia, 11-13 September 2014 (aceite para publicação).
- [11] E. Hamard, J. Morel, F. Salgado, A. Marcom, N. Meunier, "A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture", *Journal of Cultural Heritage*, vol.14, pp. 109-115, 2013.
- [12] P. Faria, V. Silva, N. JAMU, I. Dias, I. GOMES, "Evaluation of air lime and clayish earth mortars for earthen wall renders", *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*, 2013, , pp. 407-413.
- [13] P. Faria, I. Dias, N. Jamú, V. Silva, "Air lime-earth blended mortars - Assessment on fresh state and workability", in *International Conference on Vernacular Heritage, Sustainability and Earthen Architecture*, Valencia, 11-13 September 2014 (aceite para publicação).
- [14] IPQ, *NP EN 459-1: 2011 – Cal de construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*. Caparica.
- [15] I. Gomes, "Conservação de construções em taipa: argamassas de reparação", *Tese de Doutoramento em Engenharia Civil*, Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- [16] M. I. Gomes, T. D. Gonçalves, P. Faria, "Análise experimental de argamassas de terra com cais e fibras naturais", in *4º Congresso Português de Argamassas e ETICS*; Universidade de Coimbra, 2012 (CD).
- [17] CEN, *EN 1015-11: 1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels.
- [18] A. Santos Silva, "Degradação do betão por reações álcalis-silica. Utilização de cinzas volantes e metacaulino para a sua prevenção". *Tese de Doutoramento em Engenharia Civil*, Universidade do Minho, 2005.
- [19] G. Matias, I. Torres, P. Faria, "Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica", in *Congreso Latinoamericano sobre Patología de la Construcción, Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio*, pp. 1480-1487, 2014.
- [20] A. E. Charola, P. Faria-Rodrigues, A. R. Mcghie, F.M.A Henriques, "Pozzolanic components in lime mortars: correlating behaviour, composition and microstructure", *Int. J. for Restoration of Buildings and Monuments*, vol.11, pp.111-118, 2005.